

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平9-506742

(43) 公表日 平成9年(1997)6月30日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	序内整理番号	F I	
H 0 1 L 21/52		7220-4E	H 0 1 L 21/52	C
21/02		6918-4M	21/02	Z
21/306		9054-4M	21/68	A
21/3065		9056-4M	27/12	Z
21/68		9635-4M	21/302	L
審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 38 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願平7-516846
 (86) (22) 出願日 平成6年(1994)12月7日
 (85) 翻訳文提出日 平成8年(1996)6月17日
 (86) 国際出願番号 P C T / U S 9 4 / 1 4 1 5 2
 (87) 国際公開番号 W O 9 5 / 1 7 0 0 5
 (87) 国際公開日 平成7年(1995)6月22日
 (31) 優先権主張番号 0 8 / 1 6 9 , 2 9 8
 (32) 優先日 1993年12月17日
 (33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 ザ リージェンツ オブ ザ ユニバーシ
 ティ オブ カリフォルニア
 アメリカ合衆国, カリフォルニア 94612,
 オークランド, レイクサイド ドライブ
 300, トゥウェンティーセカンド フロア
 (72) 発明者 スミス, ジョン エス.
 アメリカ合衆国, カリフォルニア 94709,
 バークレー, オックスフォード ストリー
 ト 1438
 (72) 発明者 ヨウ, ハイージェン ジェイ.
 アメリカ合衆国, カリフォルニア 91724,
 コピナ, ベンダー アベニュー 324
 (74) 代理人 弁理士 石田 敬 (外2名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 セルフアセンブル型微細構造の組み付け方法

(57) 【要約】

微細構造を流体搬送により基板上に組み付ける方法。この微細構造は成形ブロック (19) であり、基板 (50) 上にある窪み (55) にセルフアラインして、この基板と一体化する。本発明の方法は、成形ブロックを流体中に搬入してスラリーを形成する工程を含む。次に、表面に窪みを具えた基板の上面 (53) 上に均一にスラリーを注ぐ。微細構造はその形状と流体により基板表面を転がって窪みにセルフアラインして嵌合する。

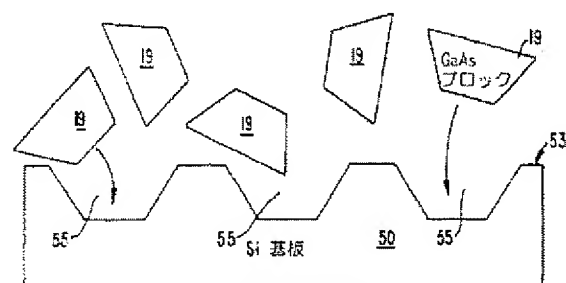


FIG. 6.

(2)

【特許請求の範囲】

1. 上面に少なくとも1つの窪みを有する基板上に微細構造を組み付ける方法であって、下記の工程：

表面に集積回路を具えた成形ブロックを複数用意する工程、
上記成形ブロックを流体中に搬入してスラリーを形成する工程、および
上記成形ブロックのうちの少なくとも1つが上記窪み内に配置される速度で、
上記スラリーを上記基板上に塗布する工程、
を含む方法。

2. 上記基板が、シリコンウェハ、プラスチックシート、ガリウム砒素ウェハ、ガラス基板、およびセラミック基板から成る群から選択される請求項1記載の方法。

3. 上記速度が、実質的に層流であって、上記成形ブロックの各々が上記窪み内へセルフアラインできる速度である請求項1記載の方法。

4. 上記成形ブロックが台形輪郭を持つ請求項1記載の方法。

5. 上記基板にある上記窪みの各々が、上記成形ブロックの各々に対して相補的なほぼ台形である請求項4記載の方法。

6. 上記台形の成形ブロックが長さ約10 μ m以上である請求項4記載の方法。

7. 上記流体が、水、アセトン、およびアルコールから成る群から選択される請求項1記載の方法。

8. 上記スラリーが、上記成形ブロックが上記基板上を滑走できる十分な流体を含む請求項1記載の方法。

9. 上記台形の成形ブロックを、下記の工程：

上面を有する第2基板を用意する工程、
上記上面上に犠牲層を成長させる工程、

上記上面上にブロック層を形成する工程、

上記ブロック層をマスクして上記犠牲層に達するまでエッチングすることにより、上記犠牲層上に且つこれと接触した状態の複数の台形の成形ブロックを形成

(3)

する工程、

上記犠牲層を選択エッチングして、上記台形の成形ブロックをリフトオフする工程、および

上記台形の成形ブロックを溶液中に搬入して上記スラリーを形成する工程、を含む方法により作製する請求項 4 記載の方法。

10. 上記選択エッチングに次いで上記成形ブロックをリンスする工程を更に含む請求項 9 記載の方法。

11. 上記選択エッチング工程がウェットエッチング工程である請求項 9 記載の方法。

12. 上記ウェットエッチング工程でエッチャントとしてフッ化水素を用いる請求項 9 記載の方法。

13. 上記第 2 基板が、ガリウム砒素、ガリウムアルミニウム砒素、シリコン、およびダイヤモンドから成る群から選択される請求項 9 記載の方法。

14. 上記台形の成形ブロックが、上面から 4 つの側面が延びて基底に達している截頭ピラミッド形状を有する請求項 4 記載の方法。

15. 上記基底が、長さ約 $10\ \mu\text{m}$ ～ 約 $50\ \mu\text{m}$ 、幅 $10\ \mu\text{m}$ ～ 約 $50\ \mu\text{m}$ であり、上記側面の各々が高さ約 $5\ \mu\text{m}$ ～ 約 $15\ \mu\text{m}$ である請求項 14 記載の方法。

16. 基板と一体化した微細構造であって、
表面に複数の窪みを持つ基板、および
表面に集積回路を具えた複数の成形ブロックであって、上記窪みと一体化する複数の成形ブロック、

を含む微細構造。

17. 上記成形ブロックの各々が台形輪郭を具え、上記基板にある上記窪みの各々が、上記成形ブロックの各々に対して相補的なほぼ台形をしている請求項 16 記載の構造。

18. 上記台形の成形ブロックが、上面から 4 つの側面が延びて基底に達している截頭ピラミッド形状を有する請求項 17 記載の構造。

(4)

19. 上記基底が、長さ約 $10\mu\text{m}$ ～約 $50\mu\text{m}$ 、幅 $10\mu\text{m}$ ～約 $50\mu\text{m}$ であり、上記4つの側面が高さ約 $5\mu\text{m}$ ～約 $15\mu\text{m}$ である請求項18記載の構造。

20. 集積回路を具えた成形ブロックを作製する方法であって、下記の工程：
上面および裏面を有する基板を用意する工程、
上記上面上に犠牲層を成長させる工程、
上記上面上にブロック層を形成する工程、および
上記ブロック層をマスクして上記犠牲層に達するまでエッチングすることにより、上記犠牲層上に且つこれと接触した状態の複数の台形の成形ブロックを形成する工程、
を含む方法。

21. 下記の工程：

上記成形ブロックの上面上および上記犠牲層の露出部分に充填層を堆積させる工程、
中間基板の上面を、上記成形ブロックの上記上面上に取り付ける工程、
上記成形ブロックから上記基板を除去する工程、
上記成形ブロックの部分を処理することにより、上記ブロックの表面に集積回路を形成する工程、および

上記充填層および上記成形ブロックを上記中間基板から除去する工程、
を更に含む請求項20記載の方法。

(5)

【発明の詳細な説明】

セルフアセンブル型微細構造の組み付け方法

発明の背景

本発明は、集積回路の分野に関する。本発明は、実施例においてシリコン基板上へのガリウム砒素微細構造の作製について説明してあるが、勿論それに限定されず広い用途に適用できる。例えば、発光ダイオード（LED）、レーザ、トンネルトランジスタ、ガン発振器、集積回路、ソーラーコレクタ（solar collector）、液晶ディスプレイのような、ガリウム砒素系微細構造（デバイス）を集積化したシリコン系電子デバイスを含むデバイスの作製は、本発明を適用できる用途の一例である。

現在この分野で要請されているのは、低コストの市販の基板上に高コストの微細構造を組付ける（assemble）ためのコストパフォーマンスの良い高効率の実用的な方法である。特に、ガリウム砒素は、特定の電子用途や光電子用途についてはシリコン等の材料に比べてかなり高い特性を持っている。しかし、ガリウム砒素デバイスの作製の際には、ガリウム砒素ウェハのかかなりの領域が利用されずに廃棄されることが多い。一般に、このように利用されない領域は高価なウェハのダイ面積を無駄にする原因になる。また、ガリウム砒素の処理には、特殊な方法、薬剤、装置が必要なが多いため、コストが高くなる。

その他の用途、例えば大規模集積（VLSI）回路等も、ガリウム砒素に比べてシリコンの方が良好に作製できる。更に別の用途では、両方の材料の特性を持つ集積回路を作製することが望ましい。そのため、シリコン系集積回路にガリウム砒素デバイスを集積化して作製する効果的な方法を開発することが求められている。そのような方法で得られる構造は、ガリウム砒素デバイスとシリコンデバ

イスの両方の長所を兼備する。

フリップチップボンディングやリフトオフ法のような方法を行うには、一般に基板上で大きな面積を必要とするため、現状のミクロンサイズの微細構造には適さない。これらの方法は基板上で粒子を位置決めすることが困難になることが多い。そのため、シリコンのような低コスト基板上にガリウム砒素微細構造のよう

(6)

な高コスト材料を作製する効果的な方法を開発することが求められている。

これまでに、個々の電子部品（一般に微細構造）を作製し、これら微細構造を基板上に組付ける方法が、利用され又は提案されている。その一つは、シリコン基板上に直接ガリウム砒素デバイスを成長させる方法である。この方法には、ガリウム砒素とシリコンとの格子構造にミスマッチがあるために限界がある。更に、シリコン上にガリウム砒素を成長させること自体が難しいため、コストが高くなる。そのため、ガリウム砒素を効率的にシリコン基板上に成長させることはできない。

別の方法がY a n d oの米国特許第 3, 439, 416号に記載されている。Y a n d oの特許には、部品あるいは構造を磁石列の上に配置、捕捉、あるいは振動させることが記載されている。この磁石は磁化された層と磁化されていない層とが交互に積層した構造になっている。部品は磁石列に合致して組付け体（assembly）となる。しかし、部品の形状、寸法および分布が厳しく限定される。部品の幅は磁石層の間隔に合致しなくてはならず、部品の分布は積層構造の平行形状に拘束される。更に、部品をセルフアライン（self-align：自己整列）するには積層構造が存在する必要がある。その上、Y a n d oの開示する構造は典型的にはmmオーダーの寸法を持っているので、ミクロンオーダーの寸法を持つ集積回路構造には適していない。そのため、Y a n d oに開示されている方法および構造は、現状の微

細構造あるいは部品を基板上に効率的に組付けるには、寸法的に大きすぎるし複雑すぎる。

また、L i e b e s, J rらの米国特許第 5, 034, 802号に記載されている方法では、パッケージ化した表面搭載デバイスと基板との間で物理的な形状を合致させる。この組付け方法は、手動またはロボットによりcmオーダーのパッケージ化表面搭載デバイスを基板上に持ち上げ、位置合わせ（整列、アライン）し、取り付ける必要がある。この方法には手動またはロボットが必要なために限界がある。手動またはロボットではパッケージ化デバイスを一括ではなく1つ1つ基板上に組付けるため、作業の効率および効果に限界がある。更に、この方法はcm

(7)

オーダーの寸法のデバイス（パッケージ化された表面搭載集積回路）を用いるため、ダイ形態のミクロンオーダーの集積回路にはほとんど適用できない。

更に、B i e g e l s e nらの米国特許第 4, 542, 397号に開示されたような方法では、平行四辺形の構造を機械的な振動により基板上に配置する。あるいは、支持板表面（基板）の開口を通る脈動空気を用いることもできる。この方法の限界は、構造を振動できる装置か、あるいは開口を通して空気を脈動させる装置を必要とすることである。更に、この方法は μm オーダーのダイを用いるため、現状の μm オーダーの構造にはほとんど適用できない。

A k y u r e k の米国特許第 4, 195, 668号には、電極台座を半田付け可能なオーミック陽極コンタクトにアラインし半田付けする装置が開示されている。この陽極コンタクトはウェハ上に配置された個々の半導体チップの一部分である。この構造をアラインするには、マスク上に台座を散布した後に台座を電磁石で振動させてアラインする技術が必要である。この方法の限界は、上記の電磁石による振動工程のための振動装置が必要のことである。更に、マスク上に電

極台座を搬送するために、マスクまで緩く傾斜した供給斜面も必要である。また、この方法は電極台座とシリコンウェハのみを対象としたものであるため、用途がこれらの構造に限定される。

更に別の方法として、C o h n の米国出願第 07/902, 986号（出願1992年6月23日）に、静電力により集積回路を基板上に組付けることが記載されている。静電力により粒子が振動し、位置エネルギーが最小になる状態に配列される。この方法の限界の一つは、粒子を静電力で振動させることができる装置を必要とすることである。更に、C o h n の方法では、機械的に振動させられる集積回路の一部が互いに衝突して損傷を受けるし、一般に有効ではない。そのためこの方法は現状の微細構造にはほとんど適さない。

そこで、基板上に微細構造を組付けるための、コンパクト、低コスト、効率的、信頼性があり、保守の容易な方法が求められている。

発明の概要

本発明は、基板上に微細構造を組付ける方法およびそれにより得られる構造を

(8)

提供する。特に、本発明の方法は、窪みもしくは一般的に接合部もしくは受容部を持つ基板上面に、成形ブロックもしくは一般的には構造を、流体を介して搬送する操作を含む。搬送時に、ブロックはその形状のために窪みにセルフアラインして合体する。得られる構造は、シリコン系電子デバイスにガリウム砒素系微細構造が合体した種々の有用な電子集積回路を持つものであり、例えば、発光ダイオード（LED）、レーザ、トンネルトランジスタ、ガン発振器、集積回路、ソーラーコレクタ（solar collector）等である。

一態様においては、本発明の方法は、基板上に μm オーダーの寸法のブロック等の微細構造を組付ける。基板は上面に窪みが少なくとも一つあるシリコンウェハ、ガリウム砒素ウェハ、ガラス基板、セラミック基板等である。基板は、スタンピング、射出成形等によ

り作製されたプラスチックシートであってもよい。組付け工程には、成形ブロックを用意する工程と、成形ブロックを流体中に搬送して混合物もしくは一般にはスラリーを形成する工程とがある。このスラリーを、成形ブロックが少なくとも1つ窪み内に配置される速度で基板上に均等に塗布する。塗布はほぼ層流状態で行われ、成形ブロックの一部を窪み内にセルフアラインさせる。

別の態様においては、本発明の方法は、例えば、改良された作製方法により得られる台形状輪郭を持つ成形ブロックをも提供する。この作製は、上面を有する第2の基板を用意する工程と、上面の上に犠牲層を成長させる工程とを含む。次に、この上面の上にブロック層を形成する工程を行う。このブロック層をマスクし、犠牲層までエッチングすることにより、犠牲層上に台形輪郭を持つ成形ブロックを形成する。犠牲層を優先的にエッチングする工程で個々の台形ブロックをリフトオフする。次にブロックをリンスした後、溶液中に移してスラリーにする。

本発明は更に、基板と合体した台形ブロックをも提供する。基板上には複数の窪みがある。ここの窪みは、台形ブロックを受容する形状の輪郭を持つ。これにより得られる構造は、上記のブロックが窪みを介して基板と合体し、集合デバイスもしくは集積回路を形成している。

(9)

更にもう一つの態様では、成形ブロックは截頭ピラミッド形のガリウム砒素構造を含む。截頭ピラミッド形の構造は、基底から4つ側面が張り出して、上面に達している。個々の側面は、基底と側面間の角度が約 50° ～約 70° である。各側面の高さは約 $5\mu\text{m}$ ～約 $15\mu\text{m}$ とすることができる。基底の長さは約 $10\mu\text{m}$ ～約 $50\mu\text{m}$ 、幅は約 $10\mu\text{m}$ ～約 $50\mu\text{m}$ とすることができる。

本発明の方法およびそれにより得られる構造を、本明細書中にお

いてガリウム砒素の台形ブロックをシリコン基板上に組付ける場合について説明するが、これは単に説明のためのみである。成形ブロックの形状は、円柱状、ピラミッド状、直方体、立方体、T形、腎臓形、その他の形、およびそれらを組み合わせでよく、対称形および非対称形を問わない。一般に、ブロックはその形状のより、同様の形状を持つ基板上的窪みもしくは受容体の中に緊密に挿入可能になる。成形ブロックは、ガリウムアルミニウム砒素、シリコン、ダイヤモンド、ゲルマニウム、その他のIII-V族およびII-VI族元素の化合物、多層構造であってよい。多層構造は、金属、シリコン酸化物や窒化シリコン等の絶縁体、およびこれらの組み合わせを含むことができる。

以下に、添付図面を参照して、実施例により本発明を更に詳細に説明する。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の方法に用いる分子線エピタキシー(MBE)成長ガリウム砒素層を持つガリウム砒素ウェハを示す断面図である。

図2は、分子線エピタキシー成長ガリウム砒素層をエッチングして形成したガリウム砒素台形ブロックを示す断面図である。

図3は、ガリウム砒素ブロックのリフトオフ工程を示す断面図である。

図4は、中間基板を用いた別のリフトオフ工程を示す断面図である。

図5は、図4の工程に代わるリフトオフ工程を示す断面図である。

図6は、個々のガリウム砒素ブロックが基板上にセルフアラインする状態を示す断面図である。

図7は、図1～3および6に示した方法によりシリコン基板上に微細構造を組付けた一態様を示す断面図である。

(10)

図8は、シリコン基板上に微細構造を組み付けた別の態様を示す断面図である。

図9は、シリコン基板上に微細構造を組み付けてガリウム砒素ダイオードを形成した態様を示す断面図である。

図10は、シリコン基板上に微細構造を組み付けてガリウム砒素ダイオードを形成した別の態様を示す断面図である。

図11は、シリコン基板上に微細構造を組み付けてガリウム砒素ダイオードを形成した更に別の態様を示す断面図である。

図12は、成形ブロックの例を示す斜視図である。

図13は、組み付けた微細構造を示す、基板上に形成された微細パターンの写真である。

図14は、作動中のフォトダイオードを示す、基板上に形成された微細構造の写真である。

図15は、ガリウム砒素ブロック上のメタライズドリング層を示す、基板上に形成された微細パターンの写真である。

図16は、ガリウム砒素ダイオードの電流・電圧関係を示すグラフである。

図17は、ガリウム砒素共振型トンネルダイオードの電流・電圧関係を示すグラフである。

実施例の説明

図1～17に関して、本発明は基板上に微細構造を作製する改良された方法、およびそれにより得られる改良された構造を提供する。例えば図1～17に、説明のため一例として、ガリウム砒素成形ブロックを作製し、これをシリコン基板上に組み付ける場合を示す。

ガリウム砒素ブロックをシリコンウェハ上に組み付ける場合は、シリコンウェハの上面にある逆台形の窪み内に台形ブロックがセルフアラインする。その際の工程としては、ガリウム砒素ブロックを

作製する工程、ブロックを溶液中に移してスラリーにする工程、および窪みのあるシリコン基板上面にスラリーを均等に塗布する工程が含まれる。塗布工程では

(11)

、ブロックは流体と共に基板上面を搬送されながら窪みにセルフアラインして沈み込む。窪みのあるシリコン基板の作製の詳細は、ガリウム砒素ブロックの形成についての説明を簡単に行った後に説明する。

一つ実施態様においては、本発明の方法の一例として、ガリウム砒素ウェハから台形ブロックを形成する工程を提供する。上記の工程には、図 1 に示したガリウム砒素ウェハ 10 を準備する工程が含まれる。本発明の方法はまた、ガリウム砒素ウェハ 10 の上面 15 の上にある犠牲層 13 の形成方法も提供する。この犠牲層 13 の一例はアルミニウム砒素（砒化アルミニウム）である。その他の犠牲層は、インジウム燐（燐酸インジウム）、二酸化シリコン、フォトレジスト等の、選択エッチング可能なものである。勿論、犠牲層は用途に応じて選択する。アルミニウム砒素犠牲層の場合は、層の厚さは約 $0.1\ \mu\text{m}$ ～約 $5.0\ \mu\text{m}$ であり、望ましくは約 $1\ \mu\text{m}$ である。犠牲層 13 を形成する前に、基板上面 15 をウェットエッチング、プラズマエッチング、反応性イオンエッチング等によりエッチングして、自然酸化膜を除去する。他の方法として、砒素の存在下で脱着処理により自然酸化膜を除去できる。その後、選択エッチング（詳細は後に説明）により犠牲層 13 を除去して、犠牲層 13 上に形成されているガリウム砒素ブロック（別称として、メサ形もしくは台形もしくは截頭ピラミッド形の構造）の個々をリフトオフし易いようにする。

図 1 において、ガリウム砒素層 17 が犠牲層 13 上に形成されている。このガリウム砒素層は、分子線エピタキシー、化学蒸着、その他のの方法で作製できる。ガリウム砒素層の厚さ T は、約 $10\ \text{nm}$

m 以上、望ましくは約 $10\ \mu\text{m}$ 以上であり、用途によって異なる。

望みの寸法のブロックを作製するために、本発明の方法においてはガリウム砒素層 17 のマスキング工程とエッチング工程を提供する。図 2 に、このマスキング工程およびエッチング工程を行った後のガリウム砒素基板 10 を、ガリウム砒素ブロック 19 と、ガリウム砒素層 17（図示せず）上のフォトレジスト層 21 と共に示す。一般に、図 2 のようにガリウム砒素層 17 のうち非露光部分が犠牲層 13 までエッチングされる。このエッチング工程によって、複数のガリウム砒

(12)

素成形ブロック19が形成される。この例の場合、成形ブロックは台形の輪郭もしくは截頭ピラミッド形状である。この台形輪郭は、用途に応じてウェットエッチング、プラズマエッチング、イオンミリング、反応性イオンエッチング等により形成できる。

一般に、ウェットエッチングを行うと側面が傾斜した輪郭のガリウム砒素ブロックが得られる。マスクの縁が〔110〕方向に平行

な場合には、ウェットエッチによって図2に示したように外向きに傾斜した輪郭になる。マスクの縁が〔110〕方向に平行な場合には、内向きに傾斜した（逆メサ）輪郭になる。外向きに傾斜した輪郭であれば、これに対して相補的な形で基板上に形成された窪みと合体する望ましい形状になる。

イオンミリングでは、ビーム角度によって外向き傾斜の輪郭を持つガリウム砒素ブロックが形成される。ビーム角度はガリウム砒素基板10の上面15の法線に対して約 0° ～約 30° の範囲に調節する。個々のブロックを外向き傾斜の（截頭ピラミッド形）輪郭にするには、典型的にはエッチング工程の間中、基板全体を回転させる。

反応性イオンエッチング（RIE）でも、成形された輪郭を持つガリウム砒素ブロックを作成できる。一般に、このエッチング方法

を用いると、側面がアンダーカット状になった逆メサ輪郭を持つブロックが形成される。エッチャント、圧力、処理設備等の条件次第で、このエッチング方法は形状および／または輪郭がほぼ揃ったブロックを形成することができる。

MBE成長層をエッチングした後に、図3に示したように犠牲層13を選択エッチングしてリフトオフ法によりガリウム砒素基板10から台形ブロックを分離する。このようなリフトオフ法は、例えば、アルミニウム砒素犠牲層を選択ウェットエッチすることにより行う。ガリウム砒素の場合は、このようなウェットエッチ工程はフッ酸溶液のような薬剤により行うのが典型的である。ここで用いるエッチャントは、犠牲層を実質的にエッチングするが、ガリウム砒素ブロックや基板に対しては強い攻撃性がない。

(13)

ガリウム砒素ブロックを基板10から分離した後に、ウェットエッチング溶液を希釈およびデカントして、溶液からブロックを取り出す。ガリウム砒素の場合は、純水、メタノール、エタノール等を用いてウェットエッチャントを希釈およびデカントする。任意工程として、希釈およびデカント工程の後にリンス工程を行う。リンス工程は、アセトン、メタノール、エタノール、等の不活性で腐食性の少ない溶液によって行う。この溶液はまた、ブロックを懸濁状態に混合すなわち一般的にはスラリーを形成するため溶媒（流体）ともなる。

図3に示したリフトオフ法の代わりに、図2のガリウム砒素基板から図4の中間構造250を得る別態様のリフトオフ法もある。この別態様のリフトオフ法を用いると、ブロックの裏面側にデバイスが形成されている場合のブロックのリフトオフも容易にできる。図示したように、この方法は、犠牲層13の露出部分の上および各ブロック19間の間隙255に、充填材もしくはワックス層253望

ましくは高温ワックスを塗布する工程を含む。このようなワックスの一例は、TRANSENE Co., Inc. 製のTECH WAXがある。この方法では次の工程として、図2のガリウム砒素構造を裏返しにして、頂部面を中間基板257上に載せる。この中間基板は例えばシリコンウェハ等である。ただし、中間基板上に載せる前に、中間基板表面261の自然酸化膜を望ましくはフッ酸等のウェットエッチャントでエッチング除去した後、この清浄化した表面をヘキサメチルジシラザン（HMDS）のような定着剤で処理する。ガリウム砒素基板10の除去は裏面263側から行い、約50 μm の厚さで基板10を残す。次ぎに、基板10の残り部分をエッチング除去してアルミニウム砒素層13を露出させる。水酸化アンモニウム+過酸化水素（ $\text{NH}_3\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2=6:200$ ）のようなエッチャントによりガリウム砒素基板を選択エッチしてアルミニウム砒素層13に到達する。すなわち、アルミニウム砒素層がエッチングストッパーとして作用しガリウム砒素ブロック19をエッチングから保護する。アルミニウム砒素層13の除去には、フッ酸のようなエッチャントを用いたウェットエッチングの工程が必要である。典型的には、このエッチャントに短時間浸漬することによってアルミニウム砒素層13が除去される。アルミニウム砒素層を完全に除去した後、マスキング工程、スパッ

(14)

タリング工程、およびエッチング工程により、図5に示したようにメタライズドリングコンタクト265を形成する。このメタライズドリングコンタクトはフォトレジスト層267から形成されたパターンによって作られている。このコンタクトのメタライゼーションに用いる材料は金、アルミニウム等である。あるいは、他の処理工程、例えばエッチング、マスキング、注入、拡散等をブロックに施して能動デバイス等の他の形状を形成することもできる。トリクロロエタン（TCA）のような溶液によって、個々の

ブロック19とフォトレジスト層21の間にある充填材すなわちワックスを溶解する。腐食を低減するために、アセトン、メタノール、エタノール、その他腐食性の低い不活性な溶液にガリウム砒素ブロックを移す。この不活性な溶液とブロックの混合物を一般にスラリーと呼ぶ。

スラリーは不活性な溶液（すなわち流体）と成形ブロックとを含む。ブロックが基板の表面を滑り移動できるようにスラリーの溶液は十分な量にする。望ましくは、混合物中の溶液量はブロック量と同じオーダーにする。勿論、必要な溶液量はブロックサイズ、ブロック材質、基板サイズ、基板材質および溶液の種類等の要因により異なる。準備したスラリーを、図6に示したようにシリコン基板50の上面53上に搬送もしくは広げる。搬送方法の詳細は、以下にシリコン基板50の作製についての簡単な説明の後に説明する。

図6に示したように、シリコン基板50にはエッチングにより形成した窪み55がある。ウェットエッチング、プラズマエッチング、反応性イオンエッチング、イオンミリング等、種々の方法により、窪み50、一般には溝、受容部、もしくは接合箇所を形成する。これらの方法により、ブロック19に対して相補的な幾何学的輪郭を持った窪み50がエッチング形成される。例えばシリコン基板内で、個々の窪みは台形の輪郭あるいは逆截頭ピラミッド形状を持つ。ブロック19は台形の輪郭を持つことにより、改良された搬送方法を介して、窪み50にセルフアラインして密着嵌合する。

搬送方法は、上面53上にスラリーを均一に広げまたは注ぐ工程を含む。あるいは、スラリーを上面53に均等に搬送できるピペット、フラスコ、ピーカー

(15)

、等の容器および／または装置で搬送してもよい。一般に、スラリーを上面53に注ぐ速度は、上面を十分に覆える速度であって且つ既に窪み内に配置されたブロックを浮き

出させたり弾き出したりしない速度とする。スラリーの流れは典型的には層流であるが、用途によっては層流でない場合もあり得る。ガリウム砒素ブロックを作製する例では、上面53上の流体流速は約0.01mm/sec～約100mm/secの速度である。望ましくは、流速は約1mm/secである。これらの流速において、ブロックは流体と共に均一に流れ、上面53上に転がり、窪み55にセルフアラインして沈降静止する。任意に、既に窪み内に配置完了しているブロックを浮かび出させないように、搬送工程を遠心分離機等の中で行うこともできる。例えば遠心分離機は、既に窪み内に配置完了しているブロックに力を負荷して、このブロックが溶液と一緒に浮かび出さないようにする。

一つの実施態様において、図1～3および6に示した方法で得られる構造20を図7に示す。図7の組付け済の微細構造は、シリコン基板10、ガリウム砒素ブロック19、および窪み55を含む。ブロックおよび窪みが台形であることにより、搬送工程中にブロックが窪みにセルフアラインし密着嵌合できる。ブロックの側面とこれに対応する窪みの側面とが作る角度Aは、実質的に約0°～約20°の範囲である。望ましくは、この角度は約5°より小さく、実質的な0°よりも大きい。この角度によって個々のブロックのセルフアライン過程が促進される。本発明の改良された方法は、種々のブロック形状および窪み形状によって基板上に多数のブロックすなわち微細構造を作製することを可能にするし、流体搬送工程をも可能にする。

上記実施態様の変更態様として、図8の構造70で示したように、共晶層75を介して窪み55内にブロック19を取り付ける。リフトオフ工程の前に、金、銀、半田、その他のメタライズド層を表面73上に形成する。あるいは、ブロックを個々の窪みに取り付ける

層は、共晶層の代わりに合成接着剤であってもよい。このメタライズド層を形成

(16)

する典型的な工程は、マスキング工程、エッチング工程、およびスパッタリング工程を含む。搬送工程に続いて、構造70を加熱することによりメタライズド層73とシリコン基板10との間に共晶層75が形成される。この共晶層により、基板10とブロック19との間の機械的および電氣的なコンタクトが提供される。基板上にブロックを取り付けるこの方法は、効率が良く低コストで容易な方法を提供する。

別の実施態様において、図1、2、4、5および6の方法の各部により、図9に示したガリウム砒素発光ダイオード(LED)200が得られる。図9に示したように、ガリウム砒素LEDはシリコン基板203およびガリウム砒素ブロック205を含む。個々のガリウム砒素ブロックは少なくともメタライズドリングコンタクト207、p型ガリウム砒素層209、n型ガリウム砒素層211、および共晶層213を含む。このデバイスを発光させる際には、メタライズドリングコンタクト207すなわちメタライズド層に電圧を印加する。図示したようにガリウム砒素ブロック205の各メタライズドリングコンタクト207内の中心領域から光子($h\nu$)が放出される。

更に別の実施態様においては、本発明の構造は図10に示したようなガリウム砒素発光ダイオード(LED)90を形成する。上記の実施態様と同様に、ガリウム砒素LEDはシリコン基板93およびガリウム砒素ブロック95を含む。やはり上記の実施態様と同様に、個々のガリウム砒素ブロックも少なくともメタライズド表面97、p型ガリウム砒素層101、n型ガリウム砒素層103、および共晶層105を含む。このデバイスを発光させる際には、例えばプローブによってメタライズド層97に電圧を印加する。図示した

ように、光子はガリウム砒素ブロック95の中心領域からではなくて縁部領域から放出される。

更にもう一つの実施態様においては、本発明の構造は図11（寸法比は実際と異なる）に示したようにテーパ付きアパーチャ開口123を持ったガリウム砒素構造120を形成する。このテーパ付きアパーチャ開口123の形成は、ウェットエッチング、イオンミリング、反応性イオンエッチング等の方法で行う。この

(17)

ガリウム砒素構造はLEDあるいはレーザ等であってよい。上記の実施態様と同様に、ガリウム砒素構造120は基板125およびガリウム砒素ブロック127を含む。構造120は更に、ガリウム砒素ブロック127上のアルミニウム等の上面メタライズド層131と、絶縁層133とを含む。リングコンタクト層135によって基板125とガリウム砒素ブロック127との間の機械的および電気的なコンタクトが提供される。ガリウム砒素ブロックに対する機械的な支持と電気的なコンタクトは柵状部137で行う。図示した発光（レーザ放射）アパーチャ139は寸法が約 $5\mu\text{m}$ ～約 $40\mu\text{m}$ である。このデバイスを起動するには、メタライゼーション層131に電圧を印加する。光子($h\nu$)がガリウム砒素ブロック127から放出され、発光アパーチャ139を通り、テーパ付きアパーチャ開口123を通る。光ファイバーケーブル141が光子を受け入れる。この光ファイバーケーブルには、直径が約 $50\mu\text{m}$ ～約 $200\mu\text{m}$ のテーパ付き受信端がある。

本発明の方法およびそれにより得られる構造をガリウム砒素の台形ブロックについて説明したが、これは一例を示したに過ぎない。本発明の方法および構造はこれら以外のどのような形状の成形ブロックにも適用できる。成形し形状を持たせたことにより、ブロックは流体を介して基板の表面を移動して対応する窪みにセルフアライ

ンし挿入されることが可能になる。図12に、成形ブロックの他の形状例を示す。図示したように、ブロックは例えば長方形300、八角形303、あるいは円形305であってもよい。長方形のブロックは対応する窪みを持つ基板への挿入方位が最大4方位ある。これに対して、八角形のブロックは8方位で挿入できし、円形のブロックは細い端部から挿入する限り全方位で挿入可能である。これらブロックの材料は、シリコン、ガリウム砒素、アルミニウムガリウム砒素、ダイヤモンド、ゲルマニウム、その他のIII-V族およびII-VI族化合物、多層構造等であってよい。この多層構造には、金属、二酸化シリコンや窒化シリコン等の絶縁体、およびこれらの組み合わせが含まれる。一般に、ブロックは成形可能な殆どどのようなタイプの材料でも作製できる。典型的には、ブロックはイオンミ

(18)

リング、反応性イオンエッチング等の方法で作製できる。窪み内への各ブロックのセルフアラインを容易にするために、ブロックの側面とこれに対応しブロックを配置するための窪みの側面との角度は実質的な約 0° ～約 20° の範囲である。望ましくは、この角度は約 5° より小さく、実質的な 0° より大きい。

成形ブロックを組み付ける基板は、シリコンウェハ、プラスチックシート、ガリウム砒素ウェハ、ガラス基板、セラミック基板等である。基板は、成形ブロックに対して相補的な形状の窪み、一般的には接合場所あるいは受容部をその上に形成できる材料であれば殆どどの材料でもよい。

実施例

本発明の方法および構造の原理を実証し作用を示すために、シリコン基板上にダイオードとしてのガリウム砒素ブロックを組み付けて作動させた。

ガリウム砒素の実施例として、ガリウム砒素ブロックを含むスラ

リーを、シリコン基板の上面にある窪みにセルフアライン（自己整列）するように搬送した。この方法は、ガリウム砒素ブロックを形成する工程、このブロックを溶液中にに入れてスラリーを形成する工程、およびこのスラリーを窪みのあるシリコン基板の上面上に均一に搬送する工程を含む。成形ブロックは基板の上面上を転がり、ブロックに対して相補的な形状を持つ窪みにセルフアラインして嵌合する。

シリコン基板の作製において、エチレンジアミンピロカテコールピラジン（EDP）または水酸化カリウム（KOH）の溶液により、台形輪郭または逆截頭ピラミッド形状の窪みを形成した。どちらの溶液で形成した台形輪郭も基板上面の法線に対して約 55° の外向き傾斜を持っていた。台形輪郭は、 $\{111\}$ 面と $\{100\}$ 面または $\{110\}$ 面との選択比（ $1:100$ ）により得られたものである。すなわち、 $\{111\}$ 面は $\{100\}$ 面または $\{110\}$ 面に対して $1:100$ の比率でエッチング速度が遅い。

本実施例においては、EDP溶液によりシリコン基板に窪みをエッチング形成した。EDPは、エイチレンジアミン（約 500 ml ）、ピロカテコール（約 160 g ）、水（約 160 g ）、ピラジン（約 1 g ）を含有する。EDP浴は約 1

(19)

15℃に保持した。エッチング工程の前に、先ず基板の上面に厚さ約200nmの熱酸化膜(SiO₂)を形成した。この酸化膜をマスクしてエッチングし、長方形の領域を形成した。この領域を深さ方向に約10μmエッチングして上面に長さ約23μmの正方形領域を形成した。各側面は個々の開口部から対照的に長さ約9μmの正方形基底まで延びていた。

台形ブロックの作製において、エピタキシャル成長2インチn型ガリウム砒素ウェハを、セルフアライン用ブロックの形成基板とし

て準備した。先ずブロック上面の自然酸化膜を脱着法により除去した。脱着は、ウェハを温度約700℃で砒素含有雰囲気に曝すことにより行った。脱着を行った後、表面上に、ドーピングした(doped)またはドーピングしない(undoped)のアルミニウム砒素の犠牲層を厚さ1μmに成長させた。次ぎに、このアルミニウムガリウム砒素層上に、MBE法により厚さ約10.7μmのシリコンドーピングしたガリウム砒素を成長させた。シリコンドーピング濃度は約 10^{18} 原子/cm³であった。次ぎに、フォトリソでMBE成長層の上面をパターニングした。

このMBE成長層の上面のパターニングのために、MBE成長ガリウム砒素層の上面にフォトリソ層を厚さ約1.6μmに塗布した。用いたフォトリソはShipley社製のAZ1400-31である。パターニング工程として更に、少なくとも露光、現像、ベークを行った。このベークは温度約120℃で約1時間行いフォトリソ層をハードベークした。以上のパターニング工程により上面上のフォトリソの露光部に約35μm×24μmの長方形が複数形成された。

パターニング完了後、非露光部をエッチングすることにより、アルミニウム砒素犠牲層に付着した台形ブロックを形成した。ブロックと窪みとが良好に嵌合するためには、個々のブロックが実質的に同一形状でなければならない。そのために、本実施例においては種々の濃度および方法によりウェットエッチングの実験を行った。

一般に、非露光部をウェットエッチングして得られた結果は、マスクの縁の方位に依存していた。マスクの縁が〔110〕方向に平行な場合は、非露光部のエ

(20)

ッチングにより各ブロックの上面から外向きに傾斜した輪郭が得られた。一方、マスク縁を〔1 1 0〕方向に平行にして非露光部のウェットエッチングをすると、内向きに傾斜した輪郭

(逆メサ) が得られた。

ウェットエッチングでこのように全く異なる輪郭(メサおよび逆メサ)が得られるのは、ガリウム砒素には異なる2組の{1 1 1}面があるからである。{1 1 1} A面すなわち{1 1 1} ガリウム面は、表面にあるガリウム原子1個の下に3個の砒素原子が結合している。{1 1 1} B面すなわち{1 1 1} 砒素面は、表面にある砒素原子1個の下に3個のガリウム原子が結合している。{1 1 1}面の各砒素原子は一对のダングリング電子を持ち露出している。このようなダングリング電子は{1 1 1} A面の構造には存在しない。その結果、{1 1 1} B面は{1 1 1} A面よりもエッチング速度が速くなる傾向があり、形成されるブロックが逆メサ形状になり、この逆メサ形状は一般にシリコン基板上にエッチング形成された窪みとは合致できない。

マスク縁が〔1 1 0〕面に平行な場合には、〔1 $\bar{1}$ 0〕面に平行

な場合に比べてアンダーカットが大きかった。本実施例においては、マスク縁を〔1 1 0〕方向に平行にした場合は、ブロック頂部付近では深さ方向エッチング1 μm 当たりの側方エッチングは約1.1 μm であった。ブロック基底付近では深さ方向エッチング1 μm 当たり側方エッチングは約0.4 μm であった。一方、マスク縁が

〔1 $\bar{1}$ 0〕面に平行な場合には、ブロック頂部付近では深さ方向エ

ッチング1 μm 当たりの側方エッチングは約0.8 μm であり、ブロック基底付近では深さ方向エッチング1 μm 当たり側方エッチングは約0.1 μm であった。基底を正方形に形成するには、〔1 1 0〕方向のマスク長さを長くする必要がある。

マスク方位(alignment)に加えて、エッチャント濃度が各ガリウム砒素ブロック

(21)

クの形状に影響を及ぼした。本実施例においては、MBE成長ガリウム砒素層については、燐酸、過酸化水素、および水

($\text{H}_2\text{PO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}$) の溶液が確実なエッチャントであった。このエッチャントを用いた場合、燐酸に対する過酸化水素および水の添加量によって3通りの異なる輪郭が形成された。燐酸が低濃度 ($\text{H}_2\text{PO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1 : 40$) の場合には、ブロック頂部面とその対応側面との角度が 30° である台形すなわちメサ形輪郭が形成された。エッチャント溶液濃度を更に低くすると、約 $10^\circ \sim 20^\circ$ の角度の浅い台形すなわちメサ形輪郭が形成された。このように浅い輪郭が形成されたのは、 $\{111\}$ B面内でのエッチング反応が輸送律速であったためであると考えられる。

燐酸が高濃度 ($\text{H}_2\text{PO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1 : 20$ 、またはこれ以上) の場合には、 $\{111\}$ B面の反応に制限されて内向き傾斜した輪郭(逆メサ)が形成される。望ましくは、上記の低濃度と高濃度の間の燐酸濃度 ($\text{H}_2\text{PO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1 : 30$) で、シリコン基板上にエッチング形成された窪みに組み付ける適合性の良い輪郭が得られる。この濃度の

エッチャントを用いると、 $[1\bar{1}0]$ 面に平行な 55° の角度と $[110]$ 面に平行な 49° の角度を持ったブロックが形成され、MBE成長層の典型的なエッチング速度は約 $0.133 \mu\text{m}/\text{分}$ (約 $133 \text{ nm}/\text{分}$) であった。上記エッチングにおいて、典型的にはエッチャント溶液は薄くなったときに補充した。

過酸化水素に対する燐酸の比率を高めて $3 : 1$ にすると、上記実験の場合と同様の輪郭が得られたが、一般に側面は粗面になった。この粗面は本発明には好都合な表面であった。

上記実施例の変更例として、同様のエッチャント ($\text{H}_2\text{PO}_3 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1 : 30$) によりアルミニウムガリウム砒素MBE成長層からアルミニウムガリウム砒素ブロックを良好に形

成することができた。このエッチャントにより、アルミニウムガリウム砒素MB

(22)

E成長 ($x = 0.1$, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$) の場合、 $[110]$ 方向に平行な内向きに傾斜した輪郭が得られた。深さ方向エッチング速度はガリウム砒素MBE成長層とほぼ同じであった。しかし、アルミニウム砒素が存在することによって、 $\{111\}$ B面のエッチングが反応速度律速になり増加した。 $x = 0.1$, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ はガリウム砒素に比べて $\{111\}$ B面の反応性が高いため、このエッチャントにより内向きに傾斜した輪郭が形成された。

ウェットエッチングの他に、イオンミリングによってもガリウム砒素台形ブロックを形成した。MBE成長ガリウム砒素層をイオンミリングすると、頂部面と対応側面との角度が約 $68^\circ \sim 90^\circ$ の範囲にある外向きに傾斜した輪郭が得られた。この角度は、MBE成長層の上面の法線に対するイオンビーム角度を約 $0^\circ \sim 25^\circ$ の範囲にして得られた。一般にビーム角度が大きい (90° に近い) と、鉛直またはほぼ鉛直の輪郭が得られた。イオンミリング中は、基板を中心軸の回りに回転させる必要があった。他の処理条件としては、アルゴンガスをエッチャントとし、圧力は約 50 mTorr 、イオンエネルギーは約 1000 V 、そしてイオンミリング速度は7分当たり $1\text{ }\mu\text{m}$ であった。このミリングで、フォトリジストマスクの側方エッチング速度は70分当たり約 $5\text{ }\mu\text{m}$ であり、角度約 68° のサイドウォールが形成された。ガリウム砒素とフォトリジストとの選択比は約 $3:1$ であった。この実施例においては、イオンミリングはほぼ一定したガリウム砒素ブロックが形成できたので、ウェットエッチングよりも有効であった。

最終浴として濃度 $\text{H}_2\text{PO}_3:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=1:1:30$ のものを用いてガリウム砒素およびアルミニウム砒素の残留酸化物

を除去した。これらの酸化物は典型的にはアルミニウム砒素をエッチング浴またはイオンミリングで処理中に生成したものである。次ぎに、フッ酸を用いてこの酸化物層 (典型的には粗い褐色層) を除去した。一般に、これらの酸化物層はアルミニウム砒素犠牲層のフッ酸 (HF) エッチングの作用の障害になる。

酸化物層を除去した後に、HF溶液によりアルミニウム砒素犠牲層を選択エッチングしてガリウム砒素ブロックをリフトオフする。詳しくは、 $\text{H}_2\text{O}:\text{HF}=\text{約}5:1$ の濃度のHF溶液を用いて犠牲層をエッチングし、ブロックをリフトオ

(23)

フした。基板上になお残留するブロックがあっても、恐らく表面張力により、基板表面から溶液中に機械的に離脱させることができる。離脱したブロックは、基底寸法が約 $22\mu\text{m} \times 23\mu\text{m}$ であった（設計寸法は $24\mu\text{m} \times 24\mu\text{m}$ ）。

ブロックを基板から分離した後、テフロンピペットを用いてガリウム砒素ブロック群からHF溶液を実質的に除去した。残留HFは水でリンスして除去した。このリンス処理によりブロックと水を含む混合物が得られた。次ぎに、アセトン等の不活性な溶液で水を置換することにより、ブロック表面の酸化を抑制した。この不活性溶液中に入るとブロックは凝集（クラスター化）して溶液表面に浮上するか逆に溶液底部に沈積する。このクラスターは、肉眼で見えることが多く、後に行う搬送工程の効果を下げるので、溶液を超音波振動で機械的に攪拌して分離した。

次に、ガリウム砒素ブロックを含んだ不活性溶液をシリコン基板の上面上に均一に搬送した（注いだ）。詳しくは、ピペットを用いてこの溶液を基板の上面に搬送した。溶液の搬送は実質的な層流を形成する速度で行った。この層流により、ブロックは基板の上面上を転がりおよび／または滑ってゆき、台形輪郭を介して窪みにセル

フアラインした。一般に搬送速度は、ブロックを含んだ溶液を基板表面で均一に流す速度とすべきであって、且つ既に窪み内に配置されたブロックは離脱させない速度とすべきである。

イオンミリングで作製したブロックは、ウェットエッチングによるブロックよりも歩留り（収率）が高かった。イオンミリングによるブロックはほぼ一定の輪郭を持っており、溶液がほぼ蒸発し終わるまでに基板上の窪みの90%以上にセルフアラインして挿入された。溶液の蒸発が進むにつれて、表面張力によってブロックの一部が窪み内から引き出されることが多くなる。蒸発完了後に充填状態になっている窪みは約30～70%である。この歩留り低下の対策は、蒸発中の表面張力が小さい液体を用いること、あるいは表面張力を実質的に解消する超臨界的な乾燥方法を用いることである。あるいは、溶液が蒸発する前にブロックを窪み内に接合することにより、歩留りを固定することもできる。

(24)

図13に、本実施例によりシリコン基板150の窪み内に配置されたガリウム砒素ブロックの写真を示す。各窪みの頂部153は正方形で長さが約 $23\mu\text{m}$ である。図示したように、写真には窪み155、シリコン基板157、および台形ブロック159も示されている。

本発明の実施例の作用を更に説明するために、図14の写真に発光ダイオード170を示す。この写真には、シリコン基板173およびガリウム砒素LED175が示されている。ガリウム砒素LEDは電氣的バイアス下で赤外線を放射した。MBE層上に成長した個々のガリウム砒素LEDは、N+ガリウム砒素キャップ層（厚さ約 100nm ）、N+Al_{0.1}Ga_{0.9}As輸送層（厚さ約 $1\mu\text{m}$ ）、P-活性層（厚さ約 $1\mu\text{m}$ ）、およびP+バッファ層（厚さ約 $1\mu\text{m}$ ）を含んでいた。ガリウム砒素LEDには更に個々のブロックの頂部

に、図15に示したように、電圧印加用のリングメタライズドコンタクト400と光出力用の開口403とが必要である。図16に示したように、電流-電圧（I-V）曲線には図14のガリウム砒素構造について典型的なp-n接合が現れている。

ガリウム砒素／アルミニウム砒素共振トンネルダイオード（RTD）もシリコン上に組み付けた。MBE層上に成長させたRTDはガリウム砒素井戸（深さ約 5.0nm ）が2つのアルミニウム砒素バリア（深さ約 2.5nm ）の間にあった。シリコンに組み付けた上記RTDについての電流-電圧特性600は、図17に示したように、 $V_{\text{PEAK}}=2.0\text{V}$ において適正な負の微分抵抗（NDR：negative defferential resistance）が現れている。この電圧において、ピーク対バレー比（山谷比）は約2.5であった。NDR領域においてRTDにバイアス負荷した後に測定された発振周波数（rf）は約 100MHz に限定されていた。バイアス回路の外部キャパシタンスおよび外部インダクタンスによって周波数が上記のように限定された。

以上ではシリコン基板上にガリウム砒素ブロックを組み付ける場合について説明したが、これは単なる一例に過ぎない。図示したように、本発明はシリコン基板上にガリウム砒素ダイオードを形成する際にも適用できる。もう一つの実用対

(25)

象としては、ガリウム砒素レーザをシリコン集積回路に組み付ける場合がある。各シリコンチップを集積光学検知器と共に極めて高いビットレートの光学チャネル上で他のチップに接続することができる。他の用途として、マイクロ波用にシリコン集積回路にマイクロ波ガリウム砒素デバイスを組み付けることができる。更に別の用途として、微細構造をプラスチックシートに組み付けて活性液晶ディスプレイ（ALCD：active liquid crystal display）等を形成することもできる。この用途の

場合、プラスチックシートはスタンピング、射出成形等の方法で作製できる。本発明の考え方は、大きい基板上へ組み付けるどのようなタイプの微細構造にも適用できる。

セルフアライン可能なデバイスのための特有な輪郭についても一般的に表現できる。この特有な輪郭は、単に説明のためだけであれば、例えば基板上の窪み構造に対応した単一のブロック構造であると表現できる。このブロック構造としては種々の形状があり、例えば円筒形、長方形、正方形、六角形、ピラミッド形、T形、腎臓形、等である。このブロック構造には、望みの方位にセルフアラインし易い幅、長さおよび高さがある。また、数種類の構造を混合物（溶液とブロック）中に存在させ、基板上にはこれらの種類に対応する接合場所を具えておくこともできる。

以上、本発明を図面および実施例により詳細に説明したが、これは発明の明瞭な理解のためであり、本発明の範囲内で何らかの変更あるいは改訂を行えることは明白である。

以上本明細書内の記載は説明のためのものであり、限定するものではない。本願の開示を参照すれば、多種多様な変更態様が当業者には理解される。本発明はガリウム砒素デバイスをシリコン基板上に組み付ける等の用途に適用できるが、これは単なる例示である。本発明は以上の説明に限定されず、特許請求の範囲の記載にのみ限定される。

(26)

【図1】

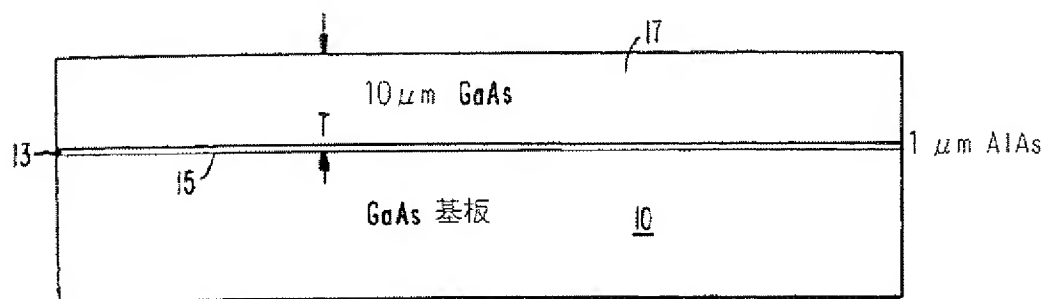


FIG. 1.

【図2】

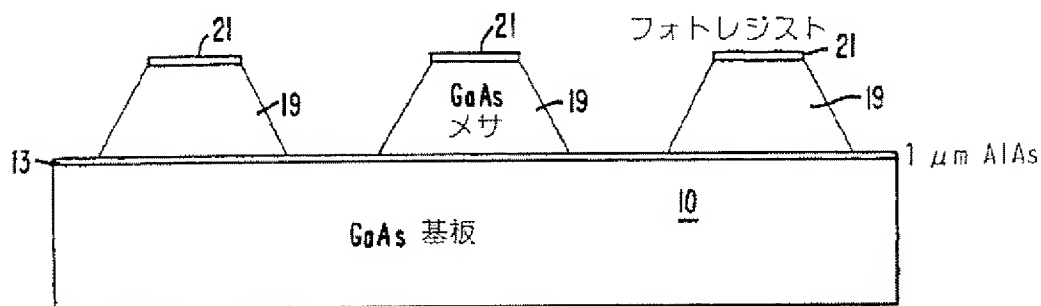


FIG. 2.

【図3】

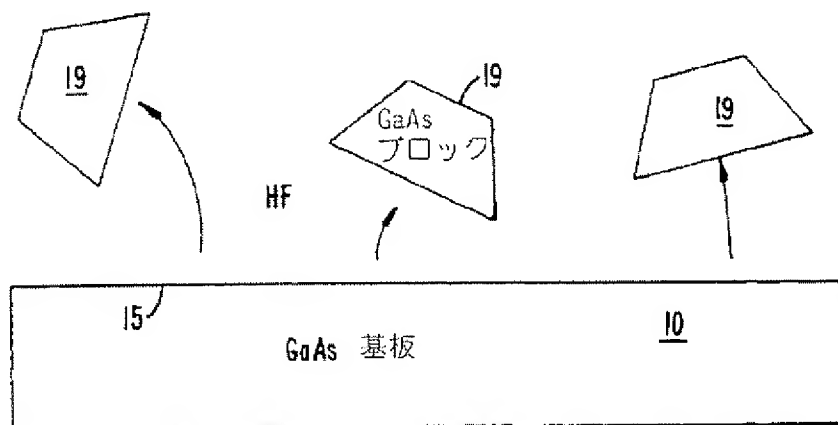


FIG. 3.

(27)

【図4】

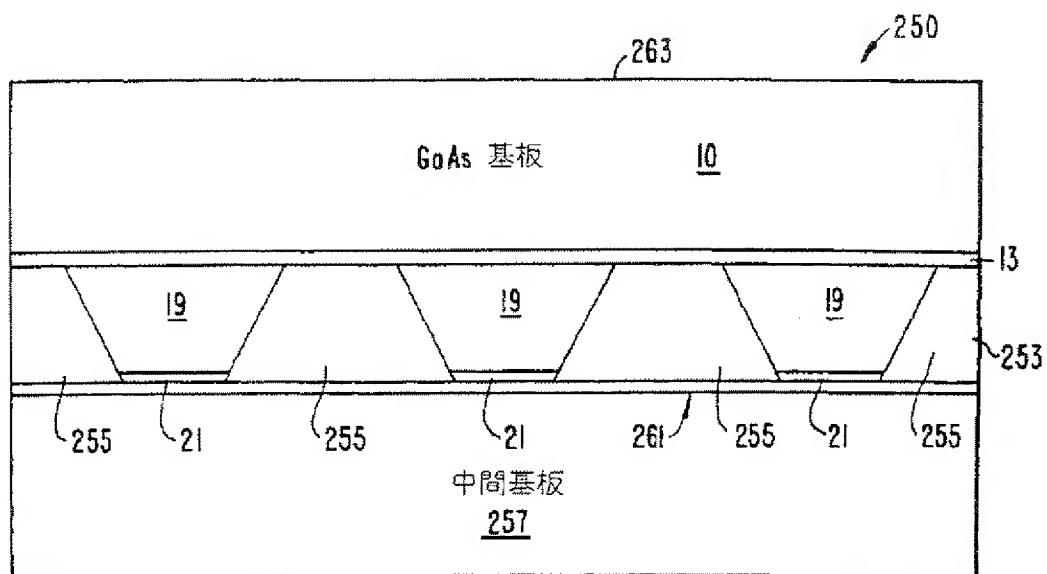


FIG. 4.

【図5】

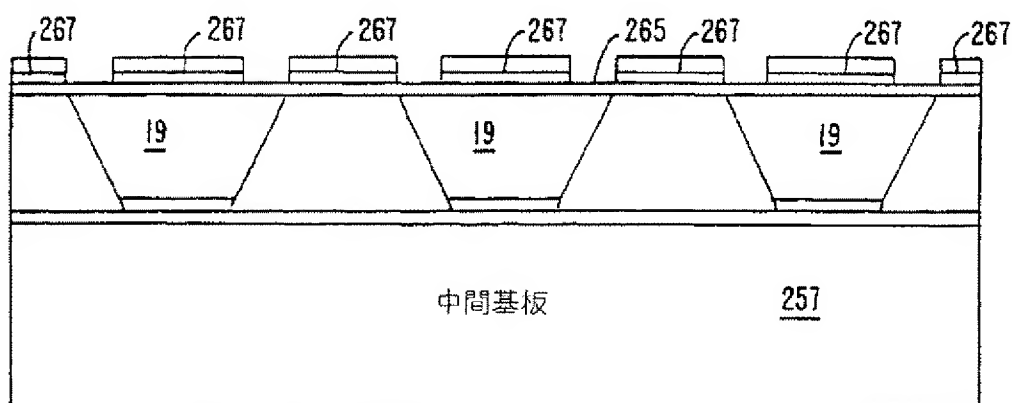


FIG. 5.

(28)

【図6】

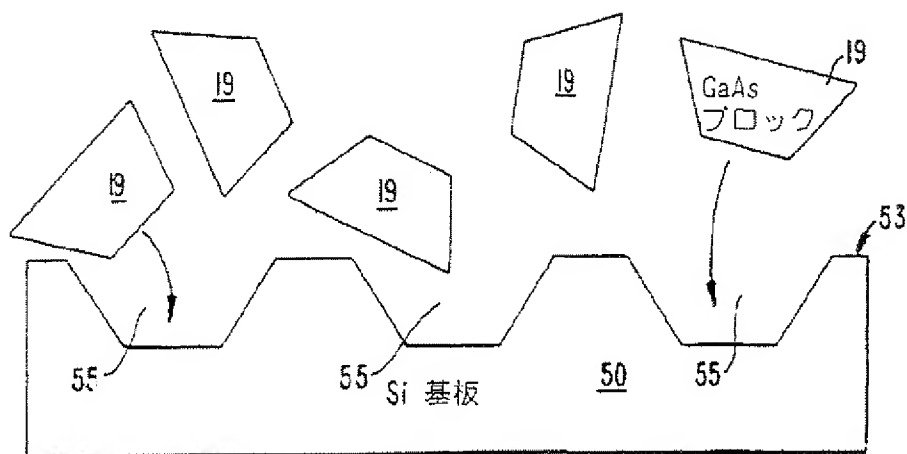


FIG. 6.

【図7】

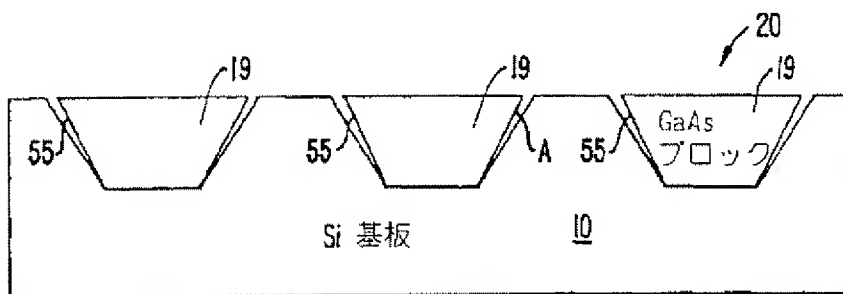


FIG. 7.

【図8】

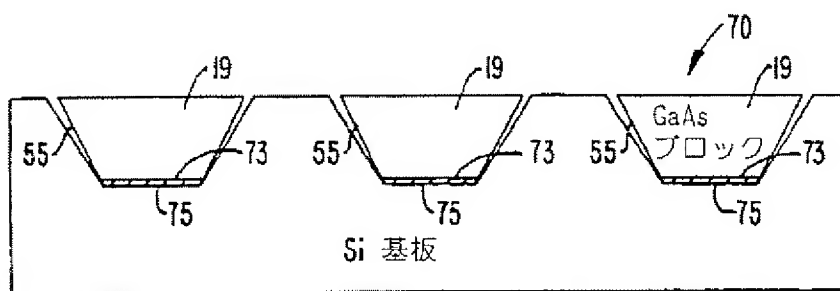


FIG. 8.

(29)

【図9】

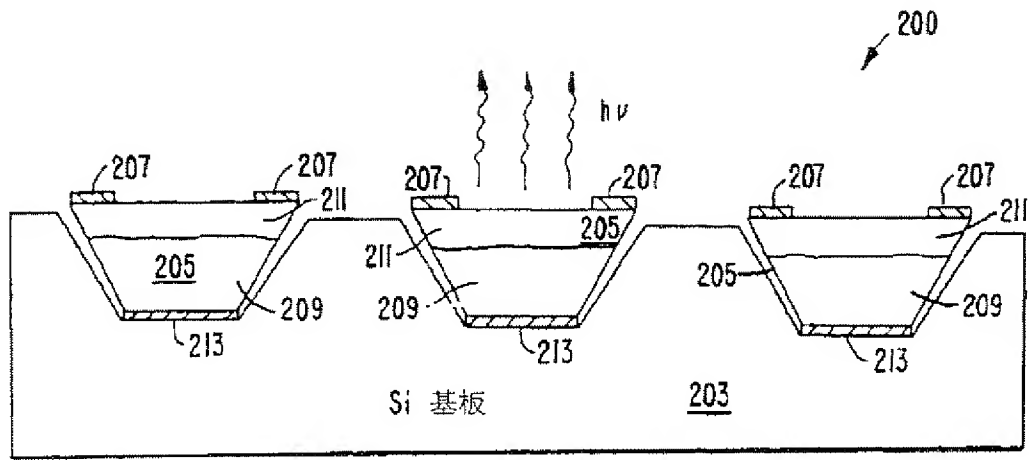


FIG. 9.

【図10】

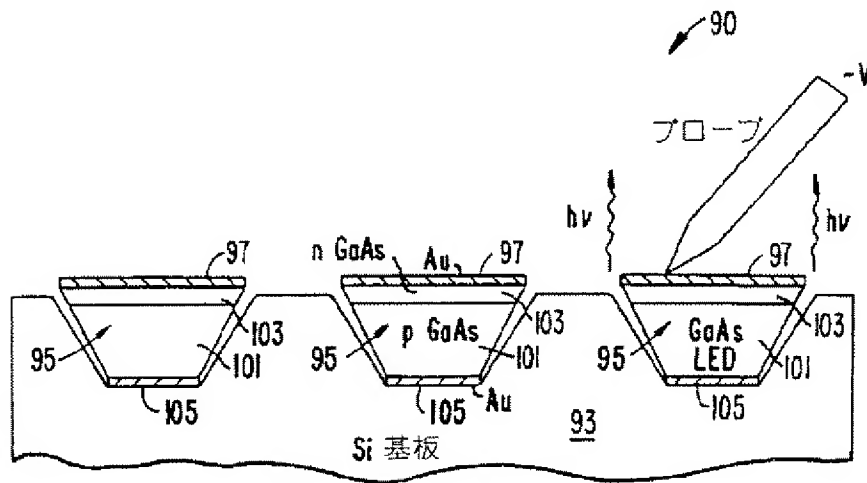


FIG. 10.

(30)

【図11】

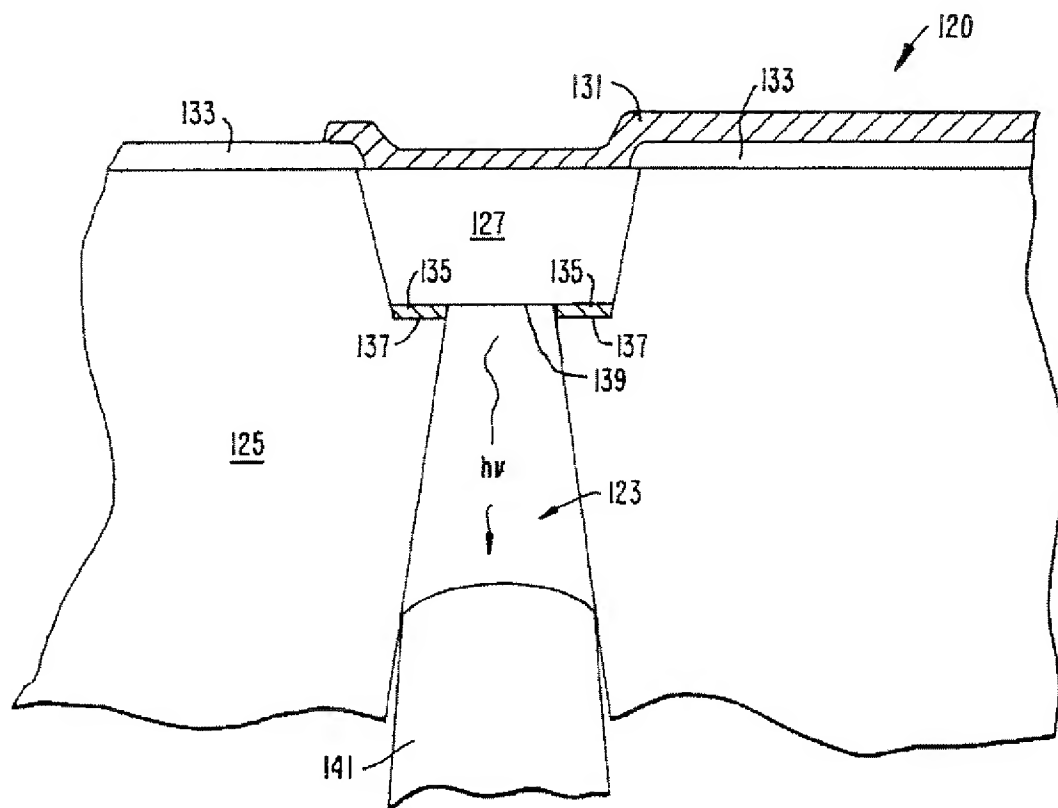
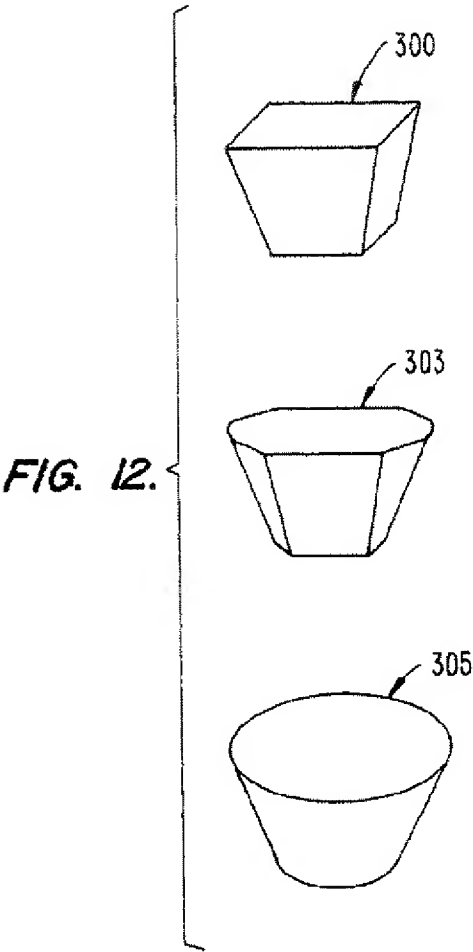


FIG. 11.

(31)

【図 12】



(32)

【図13】

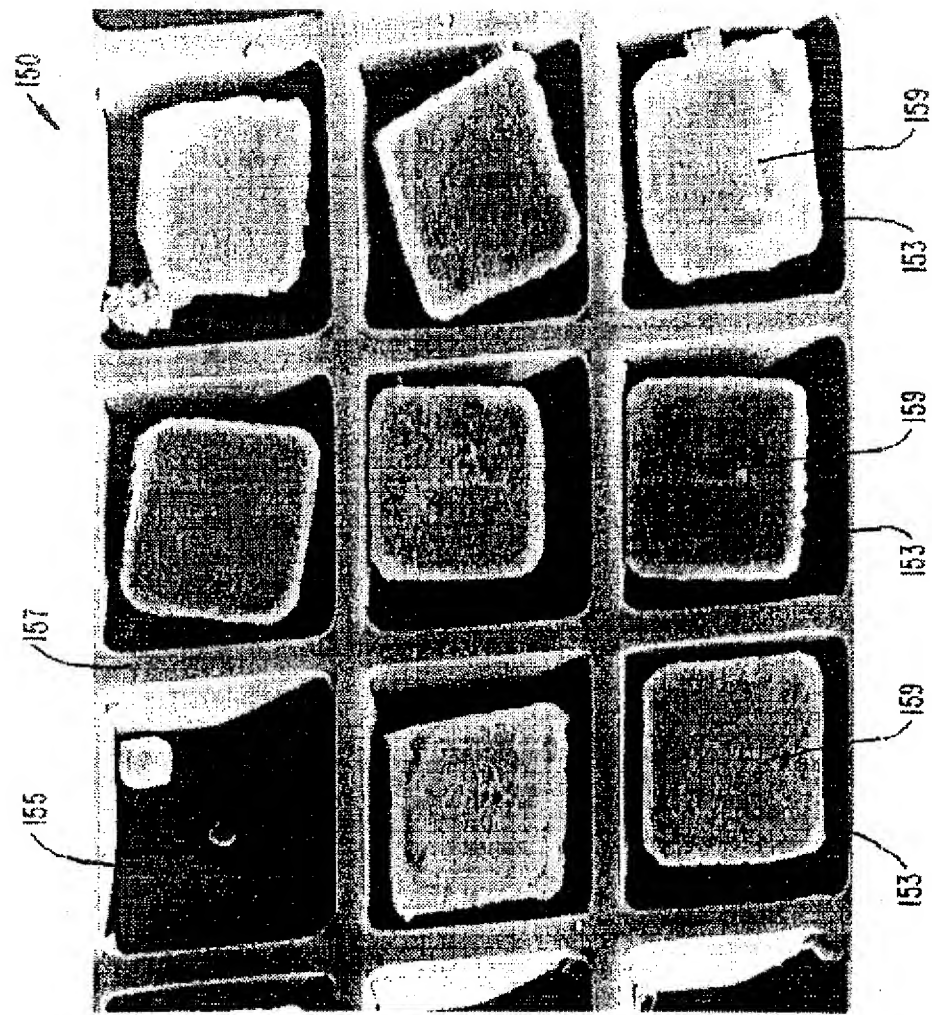
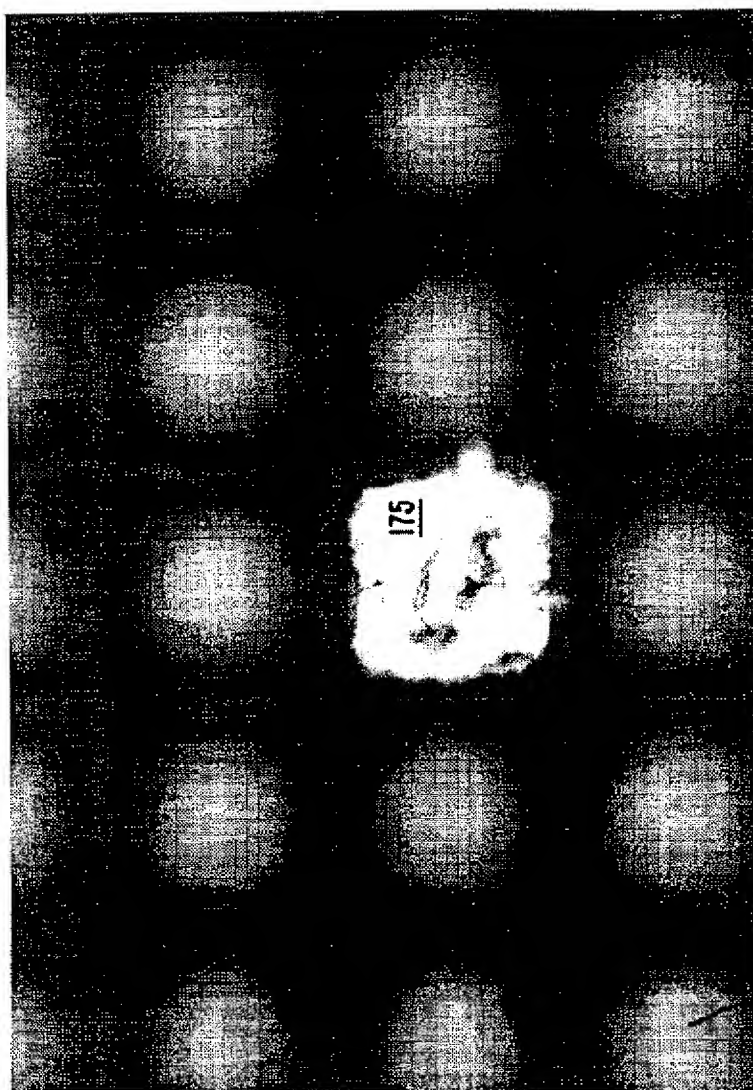


FIG. 13.

(33)

【図14】

170



173

FIG. 14.

(34)

【図15】

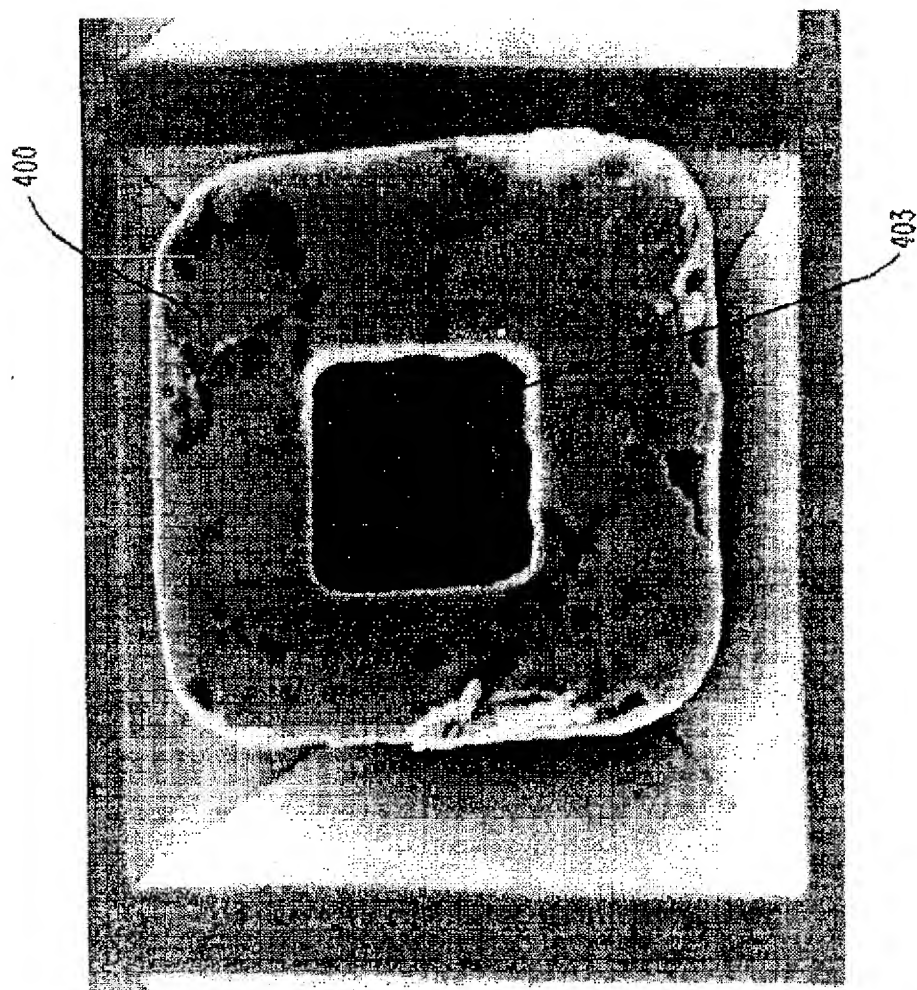
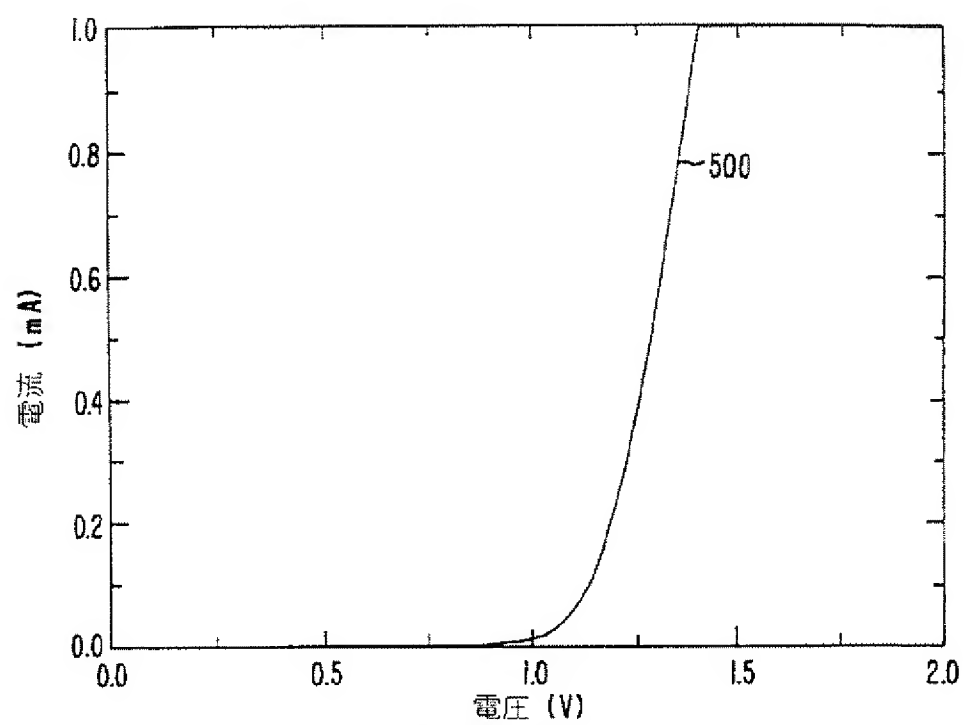


FIG. 15.

(35)

【図16】

**FIG. 16.**

(36)

【図 17】

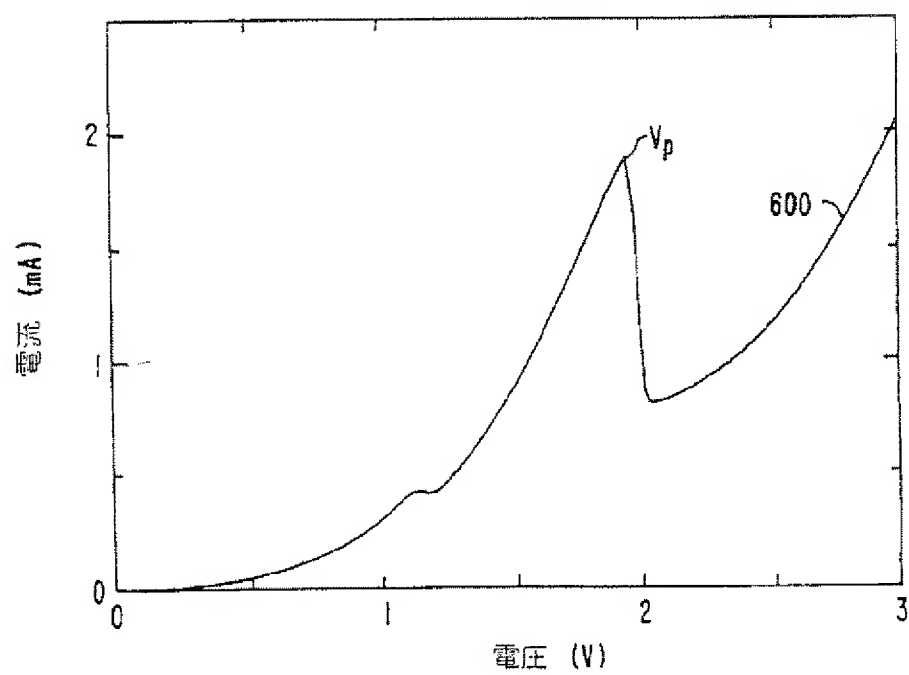


FIG. 17.

(37)

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US94/14152

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC(6) : H01L 21/302, 306

US CL : 156/647, 657, 659.1; 257/084, 521; 437/078, 226

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

U.S. : 156/631, 643, 647 648, 649, 652, 657, 659.1; 662; 257/084, 520, 521; 437/078, C86 303, 309, 226

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US, A 4,990,462 (Sliwa) 05 February 1991. See ABSTRACT and Figs. 4a-4b.	1-22
A	US, A, 3,725,160 (Bean ET AL.) 03 APRIL 1973. See Figs. 4 and 6.	16-19

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later documents published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understate the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 FEBRUARY 1995

Date of mailing of the international search report

13 MAR 1995

Name and mailing address of the ISA/US
Commissioner of Patents and Trademarks
Box PCT
Washington, D.C. 20231

Facsimile No. (703) 305-3230

Authorized officer

WILLIAM A. POWELL

Telephone No. (703) 308-1975

Form PCT/ISA/210 (second sheet)(July 1992)*

(38)

フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6	識別記号	庁内整理番号	F I	
H 0 1 L 27/12		8934 -4M	H 0 1 L 21/306	Q
29/88		9544 -4M	29/88	S

(81) 指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, M C, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AP(KE, MW, SD, AZ), AM, AT, AU, BB, BG, BR, BY, CA, CH, C N, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, HU, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LK, LR, LT, LU, LV, MD, MG, MN, MW, N L, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SI, SK, TJ, TT, UA, US, UZ, VN